



SKOGSMÄSTARPROGRAMMET

Examensarbete 2015:28

Går det att generera ett hjälpmedel för att dimensionera vägtrummor?

*Is it possible to generate a tool for dimensioning of
culverts?*



Henrik Ådén

Går det att generera ett hjälpmedel för att dimensionera vägtrummor?

Is it possible to generate a tool for dimensioning of culverts?

Henrik Ådén

Handledare: Anneli Ågren, SLU Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Examinator: Staffan Stenhag, SLU Skogsmästarskolan

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Självständigt arbete (examensarbete) med nivå och fördjupning G2E med möjlighet att erhålla kandidat- och yrkesexamen

Kurstitel: Kandidatarbete i Skogshushållning

Kurskod: EX0624

Program/utbildning: Skogsmästarprogrammet

Utgivningsort: Skinnskatteberg

Utgivningsår: 2015

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Serienamn: Examensarbete /SLU, Skogsmästarprogrammet

Serienummer: 2015:28

Omslagsbild: Vägtrumma med tillräckliga dimensioner, Hissjö, © Henrik Ådén

Nyckelord: avrinningsområde, underdimensionerad, skogsbilvägar



Sveriges lantbruksuniversitet
Skogsvetenskapliga fakulteten
Skogsmästarskolan

FÖRORD

Examensarbetet har utförts vid Skogsmästarskolan i Skinnskatteberg vid Sveriges Lantbruksuniversitet. Studien har omfattat 15 högskolepoäng inom ämnet akvatisk landskapsanalys. Det motsvarar 10 veckors heltidsstudier, vilka påbörjades i januari 2015. Efter en tids sökande efter ett lämpligt ämne att skriva om kom jag i slutet av 2014 i kontakt med Anneli Ågren, vid SLU i Umeå. Tillsammans med Anneli växte upplägget för ett intressant examensarbete fram.

Då jag inför starten av studien inte hade några djupare kunskaper inom en del ämnen som studien har omfattat såg jag examensarbetet som ett bra komplement till mina tidigare studier.

Slutligen vill jag tacka mina handledare Anneli Ågren och William Lidberg, vid SLU i Umeå, för deras stöd och support. Jag vill även tacka Stefan Gunnarsson och Lisa Wik Persson, Skogsstyrelsen, vilka supportade mig under arbetets start och under dess gång. Sist men inte minst vill jag tacka Staffan Stenhag och Eric Sundstedt.

Umeå
2015-08-17

Henrik Ådén

Innehåll

Förord	iii
1. ABSTRACT	1
2. INLEDNING	3
2.1 Introduktion	3
2.2 Bakgrund och syfte	3
2.3 Frågeställningar	4
3. LITTERATURSTUDIE	5
3.1 Samhällets behov av att hantera vatten	5
3.2 Skogsbilvägar	5
3.2.1 Tjälskador	5
3.2.2 Vägtrummor	6
3.2.3 Trumläggning	6
3.3 Översvämningsfrekvens	7
3.4 Klimat	8
3.4.1 Klimatanpassning	9
4. MATERIAL OCH METODER	11
4.1 GIS-beräkningarna	11
4.2 Avrinning	12
4.3 Flödesberäkningar	13
4.4 Hypotesprövning	14
5. RESULTAT	15
5.1 Geografisk beskrivning	15
5.2 Vägtrumorna	16
5.2.1 Samband mellan vägtrumornas diameter samt tvärsnittsarea och delavrinningsområdets storlek	17
5.3 Avrinning och flödesberäkningar	20
5.3.1 Månadsvis medelavrinning	20
5.3.2 Högflöde	22
5.3.3 Broar	24
6. DISKUSSION	27
7. SAMMANFATTNING	31
8. REFERENSER	33
8.1 Publikationer	33
8.2 Internetdokument	35
9. BILAGOR	37
Bilaga 1, Underdimensionerade vägtrummor	37
Bilaga 2, Skogsstyrelsens inventeringsprotokoll	39

1. ABSTRACT

Every year the Swedish infrastructure is afflicted with more or less severe damages caused by water. The damages are often caused by flooding due to underdimensioned culverts. The fact that an operational infrastructure is needed to maintain a financial and ecological profitable forestry shows the benefit of a less frequency of underdimensioned culverts.

The purpose of the study was to investigate in which proportion the inventoried culverts and road bridges are underdimensioned. Hopefully the study can be used as a new tool for the dimensioning of water passages to decrease the frequency of underdimensioned culverts. The study covers 5 940 culverts and 160 road bridges in five drainage areas located in Gävleborgs County, Sweden.

Thanks to the unique inventory of culverts and road bridges made by Skogsstyrelsen, the study has been possible to perform. The inventory recorded high-resolution coordinates of the culverts and some geometrical information, such as diameter and length. That data combined with the new digital elevation and runoff-information from SMHI has been used to perform the calculations.

Two different water flows has been used, called monthly average run-off and high-flow. The result showed that barely five percent of all the culverts are underdimensioned by the monthly average run-off and just over five percent by high-flow. The fact that the water flow increases several times during high-flow does not show a remarkable impact on the frequency of underdimensioned culverts. Even though, the underdimensioned culverts could cause extensive damage on the infrastructure and to the living organisms which is living in the water.

2. INLEDNING

2.1 Introduktion

Skogsstyrelsen har inventerat drygt 25 000 vägtrummor och broar inom Gävleborgs län i fält, vilket utgör ca 39 % av länets yta. Tack vare inventeringen finns exakt information om vägtrummas geografiska positioner samt geometriska data. Studien har dock inte omfattat hela det inventerade området, utan 6 100 vägtrummor och broar fördelat på fem mindre avrinningsområden. Inventeringsprotokollet Skogsstyrelsen använde finns bifogat i bilaga 2.

2.2 Bakgrund och syfte

Sveriges infrastruktur drabbas av återkommande skador orsakade av det vattenflöde som b.la. regn och smält snö bildar. Skadorna orsakas inte allt för sällan av översvämningar som följd av underdimensionerade vägtrummor, vilket är ett problem som skogsnäringen med flera lägger resurser på för att komma till bukt med. En av de större svårigheterna med att lösa problemet är att vattenflödena kan variera mycket, beroende på var vägtrumman placeras i vägkroppen.

Tack vare Skogsstyrelsens unika omfattning av inventerade vägtrummor samt broar möjliggörs en studie för att kunna identifiera vilka vägtrummor och broar som är underdimensionerade. Med hjälp av den nya höjddatabasen möjliggörs noggranna beräkningar för hur mycket vatten varje trumma kan ta emot under olika flöden. SMHI:s insamlade hydrologiska data möjliggör studier för hur stora vattenflöden vägnätet samt varje vägtrumma påverkas av.

Examensarbetet görs för att författaren är intresserad av ämnet och vill uppnå djupare kunskaper inom det. Syftet med uppsatsen var att belysa hur bilvägnätet och vägtrumorna i det inventerade området klarar av att vidaretransportera den faktiska avrinningen. En förhoppning med studien är att arbetsmodellen kan användas i vidare omfattning för att dimensionera vägtrummor.

2.3 Frågeställningar

Följande frågeställningar kommer att besvaras i arbetet:

1. Hur klarar dagens vägnät av den *månadsvisa medelavrinningen* med avseende på vägtrumorna?
2. Hur klarar dagens vägnät av ett *högflöde* med avseende på vägtrumorna?
3. Går det att sluta sig till något samband mellan delavrinningsområdets storlek och storleken på tillhörande vägtrumma?
 - 3.1. Går det att sluta sig till någon optimal diameter på vägtrumman i förhållande till ackumulerat vattenflöde, baserat på de insamlade uppgifterna?

3. LITTERATURSTUDIE

3.1 Samhällets behov av att hantera vatten

Allt större fokus läggs på de svenska vattendragen som ringlar genom våra landskap, vilka har en total längd på ca 40 000 mil (Skogsstyrelsen, 2013). Vattendragen uppfyller en betydande roll för den biologiska mångfalden i våra skogar. För att bibehålla goda vattenförhållanden har skogsbruket en betydande roll då majoriteten av vattendragen rinner i skogslandskapet. Ett av de största vattenrelaterade problemen som skogsbruket har att lösa är igenslamning i vattendragen till följd av ökad slamtransport. Detta eftersom bortspolade vägar ökar igenslamningen, då vattenflödena för med sig vägmateriel, vilket sedimenteras nedströms. Sedimenteringen har i sin tur en negativ påverkan på växt- och djurlivet i vattendragen (Världsnaturfonden WWF, 2011). Följderna med den ökade slamtransporten kan bli omfattande, som igenslammade lekgrusbottnar för öring samt färre levnadsmiljöer för andra arter. För att minimera skadorna på vattendragen är det av största vikt att dimensionera vägtrummmorna efter den vattenvolym som ska passera igenom dem (Bishop m.fl. 2008).

3.2 Skogsbilvägar

I Sverige finns det ca 57 000 mil väg, där skogsbilvägarna utgör en dryg tredjedel. För skogsbruket är skogsbilvägar ett måste för att kunna bedriva ett rationellt och kostnadseffektivt skogsbruk, samtidigt som man radikalt minskar transportavståndet och därmed bränsleförbrukningen för tunga skogsmaskiner (Ryan m.fl. 2004). Det är inte bara skogsbruket som har nytta av ett väletablerat och väl underhållet skogsbilvägnät. En bättre infrastruktur i skogslandskapet öppnar för lättare tillgänglighet till friluftsliv, bär- och svampplockning, ridsport samt jakt och fiske, för att nämna några intressenter (Filipsson, 1996).

Med ca 40 000 mil rinnande vatten (Skogsstyrelsen, 2013) i skogslandskapet är det praktiskt omöjligt att undvika en vägdragnig som korsar ett vattendrag. Genom att placera en vägtrumma i väggroppen kan vattnet passera under väggroppen och fortsätta sin naturliga sträckning (Bishop m.fl. 2008).

3.2.1 Tjälskador

Varje år uppstår tjälskador på vägnätet, såsom tjällyftning, vilket leder till försämrad framkomlighet. Skadorna som uppstår i och med tjällossningen leder till att tusentals mil skogsbilväg i så dåligt skick att de omöjliggör timmertransporter. En följd av minskade timmertransporter under tjällossningsperioden leder till minskad konkurrenskraft för skogsbruket, sett ur ett internationellt perspektiv. Tjälskadorna

kostar skogsnäringen stora summor varje år och därmed påverkas även Sveriges nationalekonomi negativt (Tannerfors, 1996). Därför är det av stor vikt att hålla en hög standard på skogsbilvägarna för att kunna bedriva ett effektivt skogsbruk året runt (Filipsson, 1996).

3.2.2 Vägtrummor

Det räcker dock inte med att placera en vägtrumma i vägkroppen. Vägtrumman måste vara tillräckligt dimensionerad för att kunna vidaretransportera den vattenvolym som ska passera. Underdimensionerade vägtrummor kan leda till översvämning vid höga flöden, där följderna kan bli skador på vägkroppen och medföra stora reparationskostnader (Öberg m.fl. 2001). I en studie gjord av MSB undersöktes sårbarheten runt Mälaren vid översvämning av ett 100-årsflöde. Resultatet visade att den totala kostnaden skulle uppgå till ca 600 miljoner kronor samt ca 230 000 drabbade personer (Edsgård, 2012).

3.2.3 Trumläggning

Det finns två typer av vägtrummor; sidotrumma och vägtrumma under vägen. Vägtrumman som löper horisontellt under vägen, från vägslänt till vägslänt, ska transportera de större vattenmassorna. En sidotrumma löper i diket, längs med vägen, vilka bl.a. används i en anslutande vägkorsning där vattnet måste passera under den anslutande vägen.

För dimensionering av vägtrummor bör man använda sig av dåvarande Vägverkets modellbeskrivning VVMB 310 (Gunnarsson m.fl. 2011). En bra tumregel är att dimensionera vägtrumorna för 50-årsflöden för att kunna hantera ett högre flöde (Vägverket, 2008). En vägtrumma som löper under vägen bör dock inte understiga en diameter av 300 mm och en sidotrumma bör inte understiga 200 mm. (Palm m.fl. 2001).

Innan trumläggningen utförs krävs dock tillstånd från Länsstyrelsen. Allt arbete i ett vattenområde är klassat som vattenverksamhet, dock med några undantag. I *Miljöbalken (1998:808) 11 kap. samt Lag (1998:812) med särskilda bestämmelser om vattenverksamhet* regleras bestämmelser om vattenverksamhet (Sveriges Riksdag, 2015).

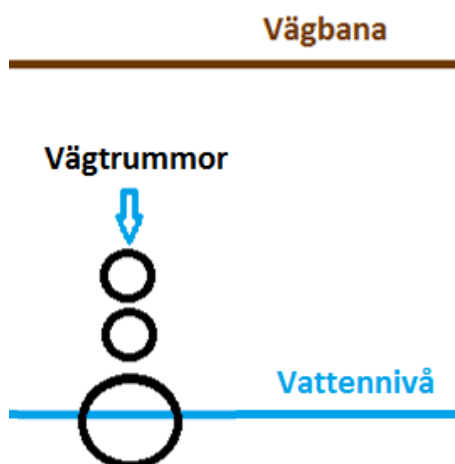
För att en vägtrumma inte ska utgöra vandringshinder för fisk och andra vattenlevande organismer rekommenderar Länsstyrelsen att:

1. Vattenhastigheten i trumman understiger 0,4 m/s
2. Trummans bottenlutning understiger 0,5 %
3. Ingen höjdskillnad mellan vägtrummans botten och vattennivån

4. Trumman ska ligga minst 30 cm under den naturliga botten (Länsstyrelsen, 2013).

Det råder dock något delade meningar hur vägtrummor bör dimensioneras och installeras. Skogsstyrelsen rekommenderar att bottenlutning på trumman inte bör understiga 1 procent samt inte överstiga 4 procent (Gunnarsson m.fl. 2011). En för låg vinkel och vattenhastighet kan medföra att vägtrummmorna lättare slammar igen då vattnet inte har samma kraft att transportera bort partiklarna vid en lägre hastighet. Vattenhastigheten genom vägtrumman bör ligga mellan 1-2 m/s (Larsson, 1992).

Under vintern, då vattenståndet och därmed vattenhastigheten sjunker, fryser vägtrummmorna lättare igen. Igenfrysningen försämrar vattentransporten genom trumman, vilket kan orsaka skador när vattenflödena ökar (Johansson, 2012). Ett sätt att undvika igenfrysning är att tina trummmorna på våren, just innan vattenflödena ökar. Det utförs ofta med hjälp av en lastbil eller bilsläp med ett monterat vattenaggregat som värmer vattnet. Det varma vattnet spolats genom vägtrumman för att lösa upp isen. Nackdelen är dock uppenbar, det är relativt kostsamt. Vid återkommande igenfrysningar är ett mer ekonomiskt alternativ att lägga två eller tre vägtrummor ovanför varandra, se figur 3.1. Om den nedersta trumman fryser igen stiger vattennivån i vattendraget då vägtrummmans kapacitet försämras. Genom att placera en eller flera vägtrummor med en mindre diameter ovanför varandra kan dessa transportera vattnet vidare. Resultatet blir att vattnet uppnår en högre hastighet i och med att samma volym ska transporteras igenom en vägtrumma med mindre diameter (Larsson, 1992).



Figur 3.1 Ett exempel på hur tre trummor ovanför varandra kan placeras.

3.3 Översvämningsfrekvens

En ny studie i Krycklans avrinningsområden visade att små bäckar i skogsmarken bildades efter ca 2 ha under vårfloden. Var marken dikad kunde man hitta rinnande vatten redan efter 1 ha landskap under vårfloden (Ågren m.fl. 2015). Under basflöde

behövdes det dock mellan 10-15 ha landskap innan man hittar någon ytavrinning. Det tyder på att tämligen små arealer kan ansamla en stor mängd vatten under vårfloden.

En av de största svårigheterna med att komma till bukt med underdimensionerade vägtrummor är troligtvis att nederbördsmängden och avrinningen varierar mellan olika år, men även mellan de olika årstiderna. Höga flöden brukar återkomma i cykler, s.k. återkomsttider, vilka benämns 10-årsflöde, 50-årsflöde och 100-årsflöde, men även ännu längre som 10 000-årsflöde (Wastenson m.fl. 1995). Ett 50-årsflöde har alltid ett högre flöde än ett 10-årsflöde, likaså ett 100-årsflöde jämfört med ett 50-årsflöde och så vidare. (Bergström, 1994). Däremot behöver inte cyklerna återkomma inom ett visst intervall, till exempel 10-årscykeln behöver inte återkomma vart tionde år. I tabell 3.1 nedan redovisas sannolikheten att ett visst flöde ska inträffa inom en viss tid. Sannolikheten att till exempel ett 10-årsflöde ska inträffa under de 10 närmsta åren ca 65 %. Inom 50 år är sannolikheten hela 99 % att ett 10-årsflöde ska inträffa (SMHI, 2015, Länk B). Sannolikheten att ett årsflöde ska inträffa ett specifikt år, till exempel i år, kan beräknas genom formeln (Bergström, 1994, s. 117);

$$p = \frac{1}{T}$$

där;

- p = sannolikheten att ett visst flöde överskrids under ett år.
- T = händelsens återkomsttid.

Tabell 3.1. Sannolikheten för att ett årsflöde ska inträffa inom en tidsperiod (SMHI, 2015, Länk J).

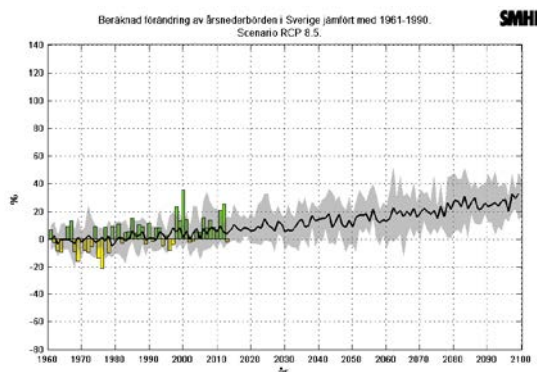
Återkomsttid i år	Sannolikhet under 10 år (%)	Sannolikhet under 50 år (%)	Sannolikhet under 100 år (%)
10	65	99	100
100	9,6	39	63
1 000	1	4,9	9,5
10 000	0,1	0,5	1

3.4 Klimat

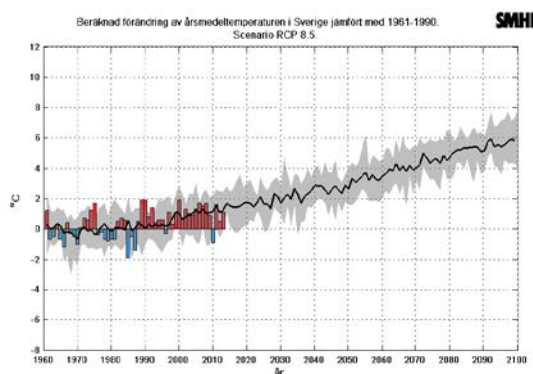
Översvämningar är ett naturligt fenomen och kommer så att förbli (Lif, 2006). De kommer med stor sannolikhet även att öka i omfattning och frekvens, enligt studier från IPCC (Adger m.fl. 2007). I en studie från SMHI (SMHI, 2015, Länk D) framgår att klimatet i Sverige skulle påverkas av en ökad nederbördsmängd, se figur 3.2.

Medeltemperaturen förväntas också att öka. I figur 3.3 går att utläsa att SMHI prognostiserar en medeltemperaturökning med ca 5° C, där norra Sverige påverkas i högre omfattning än södra. Det skulle bl.a. medföra fler tjällossningar per år, vilket i sin tur skulle försämra framkomligheten på skogsbilvägnätet i högre grad än idag.

Följderna av en högre frekvens med tjällossningsskador skulle troligtvis påverka skogsnäringen negativt i större omfattning än idag (Tannerfors, 1996).



Figur 3.2. Förändring i den årsmedla nederbördsmängden (%) i Sverige från åren 1971-2000 till åren 2071-2100 jämfört med 1961-1990 (SMHI, 2015, Länk L).



Figur 3.3. Förändring i årsmedeltemperatur (°C) i Sverige från åren 1971-2000 till åren 2071-2100, jämfört med 1961-1990 (SMHI, 2015, Länk K).

Det är inte bara Sverige som påverkas av förändrade väderförhållanden. Omfattande studier har gjorts beträffande följderna av den mänskliga påverkan av klimateffekter. I IPCC:s rapport "WG II 2007" går att utläsa att den redan uppmärksammade betydelsen av den mänskliga påverkan på klimatet ökar i omfattning (Adger m.fl. 2007). I en annan studie utförd av IPCC (Field m.fl. 2014) visades ett scenario där vi år 2100 skulle uppnå en medeltemperaturökning på drygt 3° C, globalt sett. Detta under förutsättningar att vi behåller nuvarande klimatpolitik.

3.4.1 Klimatanpassning

Med en ökad medeltemperatur blir följderna mildare vintrar och torrare somrar i Sverige (Field m.fl. 2014). För att även i framtiden uppnå skogsindustrins krav på ett relativt jämnt rundvirkesflöde året runt blir kvalitetskraven på skogsbilvägarna högre. En framtida intensivare och ökad nederbördsmängd i kombination med kortare perioder med tjäle i marken ställer även högre krav på noggrannare traktplanering för att inte öka frekvensen körsador (Johnell, 2010). Andelen områden som endast kan avverkas på vintern kommer även att minska. I mellersta Norrland utgör andelen vintertrakter i dagsläget ca 40 procent av alla avverkningsstrakter. År 2100 förväntas andelen ha minskat till ca 25 procent för

samma område. Problematiken med tjäle skulle troligtvis öka vid en ökad medeltemperatur i och med antalet dagar med både plus- och minusgrader skulle öka i antal (Hallgren, 2010).

Det finns ett behov av att klimatanpassa infrastrukturen för att minimera alternativt undvika skadorna på vägnätet som orsakas av ett framtida mildare klimat (Arvidsson m.fl. 2012). En av de viktigaste åtgärderna för att klimatanpassa skogsbilvägarna är att hålla en god förvaltning av skogsbilvägarna. En upprustning av vägnätet kan också bli nödvändigt i och med en framtida ökad mängd nederbörd samt mer tjälskador. Det är särskilt viktigt att förbättra vägar som ligger på finkornrik mark, vilka framför allt finns i svackor (Hallgren, 2010). Kostnaden för ökad vägunderhållning samt upprustning av vägnätet kan kosta upp emot hundratals kronor per meter (Skogforsk, 2015, Länk E). Det är dock en nödvändig kostnad om vi ska kunna behålla den konkurrenskraft den svenska skogssektorn har idag (Tannerfors, 1996).

Prognoserna tyder på att problemen med bortspolade vägkroppar inte kommer att minska, utan snarare att öka i en relativt snar framtid. För att undvika de potentiellt ökade ekonomiska och ekologiska skador, såsom förstörda vägar och försämrad biologisk mångfald, bör vägtrummor därför dimensioneras efter ett prognostiserat ökat vattenflöde.

4. MATERIAL OCH METODER

I det här kapitlet ges en beskrivning för arbetets tillvägagångssätt. Detta för att ge läsaren en bättre möjlighet att bilda sig en egen uppfattning om tillvägagångssättet samt att lättare utföra en liknande studie själv. Arbetet grundar sig på SMHI:s simulerade avrinningsvolymerna för respektive avrinningsområde, Skogsstyrelsens inventerade data, GIS-simuleringar samt bearbetning av data i Microsoft Excel 2010. För statistiska beräkningar har IBM SPSS statistics Version 22 använts. Nedan förklaras stegvis hur arbetet har utförts.

4.1 GIS-beräkningarna

I ett första steg har ett delavrinningsområde till varje vägtrumma och bro beräknats. Detta för att senare kunna beräkna vilken mängd vatten, avrinning, som varje vägtrumma och bro måste vidaretransportera.

GIS står för *geografiska informationssystem* och är ett datorbaserat system för att samla in, lagra, analysera och presentera geografisk data (Mitchell, 2012). GIS har använts för att beräkna hur stort delavrinningsområde som påverkar varje enskild vägtrumma och bro. För beräkningarna har GIS-programmet ArcGIS använts. Ovan nämnda GIS-beräkningar har omfattat *fem* steg, vilka beskrivs nedan;

1. Vägtrumorna bränns ner i den digitala höjdmodellen. Med det menas att en 20 meter djup kanal skapas vid varje vägtrumma. Detta är möjligt då samtliga vägtrummor GPS-positionerades vid inventeringstillfällena med en exakthet på 0,5-1 meter. Vid GPS-positioneringen av vägtrumorna gjordes en mätning vid varje öppning, vilka positionerades som uppströms, nedströms eller okänd. Broarna har mätts in i mitten av brospannet med två mätningar, en uppströms och en nedströms.
2. *Fill* – Förbereder höjdmodellen. Programmet fyller igen sänkor i landskapet så att vattnet från varje cell kan rinna till utloppet på varje delavrinningsområde. Därmed möjliggörs noggranna simuleringar för vattnets färd genom terrängen. Varje cell återspeglar en ruta på två gånger två meter i verkligheten.
3. *Flow direction* – Beräknar åt vilket väderstreck marken lutar i varje cell, det vill säga åt vilket väderstreck vattnet rinner ifrån varje cell.
4. *Flow accumulation* – Beräknar hur många celler som rinner till en viss cell, d.v.s. avrinningsarean på samtliga celler som rinner till varje cell.

5. *Snap pour point* – Positionerna för vägtrummmorna flyttas till det högsta ackumulerade flödet. Det görs på grund av att en del vägtrummmor befinner sig på gränsen mellan två celler. För att inte positionen ska förflyttas orimligt långt justeras antalet meter som programmet får flytta trummorna. I studien har programmet kunnat flytta positionen upp till fem meter.

4.2 Avrinning

Under den här rubriken beskrivs hur beräkningarna har utförts, beträffande mängden avrinning till respektive vägtrumma och bro.

SMHI har ca 330 stycken hydrologiska stationer utspridda i hela Sverige. Dessa har i uppgift att mäta parametrar som vattenföring, däribland avrinning (SMHI, 2015, Länk G). I studien har data om avrinning för respektive avrinningsområde använts, vilket går att finna på SMHI:s hemsida under "vattenwebb" (SMHI, 2015, Länk H). För att kunna se variationer på avrinningen för olika perioder över året har beräkningarna grundats på månadsvisa värden. De månadsvisa värdena omfattar ett intervall mellan januari år 1999 till och med december år 2013. Det innebär att ett medelvärde för exempelvis januari beräknas från alla januarimånader mellan åren 1999 och 2013. För att reda ut hur dagens bilvägnät klarar av ett högflöde har SMHI:s data om historiska högflöden använts. Högflödena är baserade på flödesstatistik från år 1981 till 2010, där de högsta flödena uppnås vid 50-årsflöden (SMHI, 2015, Länk I). I studien har 50-årsflöden återspeglat högflöde, då de högre flödena bör ge störst utslag beträffande andelen vägtrummmor som inte klarar av avrinningen.

Då avrinningen inom ett avrinningsområde ackumuleras uppifrån och ner, resulterar det i att den är som störst längst ner i avrinningsområdet, se figur 4.1. I studien har det ackumulerade värdet, längst ner i avrinningsområdet, använts. Genom att dividera den ackumulerade avrinningen längst ner i avrinningsområdet med arealen för densamma har ett medelvärde för den specifika avrinningen beräknats. Därefter uppnås avrinningen till respektive vägtrumma och bro genom att multiplicera avrinningsområdets areal med avrinningen från varje arealenhet, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.



Figur 4.1. Exempel på ett avrinningsområde. Här ackumuleras avrinningen från vänster till höger (SMHI, 2015, Länk M).

4.3 Flödesberäkningar

I den här delen förklaras hur flödesberäkningarna är gjorda. Med flödesberäkningar menas en vägtrummas maximala flöde, d.v.s. hur mycket vatten en vägtrumma maximalt kan vidaretransportera, givet vissa förhållanden.

Från Skogsstyrelsen inventerade material har följande parametrar använts:

- Vägtrumornas innerdiameter
- Igenslamning
- Broarnas höjd

Beräkningarna samt framställningarna av diagram och figurer har gjorts i Microsoft Excel 2010. För att beräkna det maximala flödet igenom en vägtrumma har formeln nedan använts.

Formel 4.1. Beräknar det maximala flödet igenom en vägtrumma.

$$Q = -6,75 \log \left[\frac{0,74}{d(\sqrt{d*J}) * 10^6} + \frac{k}{3,71*d} \right] d^2 * \sqrt{d * J}, \text{ (Statens Planverk, 1981, s. 115).}$$

Där:

- Q = Flödet (m³/s)
- d = Vägtrummans innerdiameter (m)
- J = Vägtrummans vertikala lutning (m/m)
- k = Råhetskoefficient (m)

Igenslammade vägtrummor har en mindre tvärsnittsarea där vattnet kan rinna in. För att uppnå rimligare beräkningar har de igenslammade vägtrumornas tvärsnittsarea reducerats med tvärsnittsarean på igenslamningen.

För att möjliggöra beräkningarna av det stora antalet studerade trummor har det varit nödvändigt att göra vissa antaganden. Detta då det endast funnits bristfällig eller ingen information om dessa parametrar i det inventerade materialet.

Antagningarna är framför allt baserade på byggnormer och statistik från det inventerade materialet.

Råhetskoefficienten är ett mått på vattnets friktion mot väggarna på röret (Statens Planverk, 1981). Första antagandet är att alla trummor är gjorda av stål. Det eftersom störst andel av vägtrumorna bestod av stål. Stål ger en råhetskoefficient på 0,001 m. Ett annat antagande är att vägtrumornas horisontella lutning är 1,0 procent. Detta för att komma så nära Länsstyrelsens rekommendationer, d.v.s. < 0,5 % lutning samt branschens byggnormer, d.v.s. 1-4 procent. För den återstående variabeln, ledningens innerdiameter, har data från Skogsstyrelsens inventering använts.

Förutom vägtrummor bestod det inventerade materialet även av broöverfarter. Dessa är mindre broar, efter skogsbilvägar, och håller därför inte samma standard och höjd över vattenytan som till exempel en broöverfart efter en statlig landsväg. Vad gäller broarnas höjd över vattenytan har den uppgiften inventerats av Skogsstyrelsen. Dock har inte information om vattendragens bredd funnits tillgänglig, vilket omöjliggör beräkningar för hur mycket vattennivån i vattendragen skulle höjas med en ökad avrinning. Därför har tre olika fiktiva vattennivåer antagits, vilket i sin tur har använts för att undersöka om broarna är tillräckligt höga för att inte spolats bort av en ökad avrinning och därmed en högre vattennivå i vattendragen.

Slutligen kontrollerades om avrinningen från varje vägtrumma och bros delavrinningsområde har varit högre eller lägre än vad vägtrumman eller bron klarar av att vidaretransportera.

4.4 Hypotesprövning

En hypotesprövning är en statistisk metod för att försöka bevisa påståenden, med hjälp av ett slumpmässigt uttaget datamaterial.

Hypoteserna i studien är;

1. Ju större delavrinningsområde desto större diameter på vägtrumorna.
2. Ju större delavrinningsområde desto större tvärsnittsarea på vägtrumorna.

Det rör sig alltså om tre parametrar; delavrinningsområdets storlek samt vägtrumornas diameter och tvärsnittsarea. Dock är värdena inte normalfördelade, varför de transformerats med den naturliga logaritmen, LN. Resultatet blev ett normalfördelat datamaterial, vilket är lättare att dra statistiska slutsatser ifrån. Därefter beräknades ett p-värde, en determinationskoefficient (R^2) samt lutningen på sambandet (k) med hjälp av IBM SPSS statistics Version 22.

5. RESULTAT

Nedan kommer resultaten från studien redovisas. Datamaterialet består ursprungligen av 6 150 vägtrummor och broar. Dock finns ett bortfall av 50 vägtrummor, eller ca 0,81 procent av totalen. Ett av bortfallen beror på en extremt stor diameter, vilken skulle påverka resultatet i hög omfattning. I resterande bortfall finns inte någon diameter tillgänglig.

5.1 Geografisk beskrivning

Under den här rubriken ges en överblick på de inventerade områdena. Dessa är fördelade på fem olika avrinningsområden, vilka är Gnarpån, Nianån, Lötån, Skärjån samt Hamrångeån. Samtliga avrinningsområden befinner sig i Gävleborgs län (tabell 5.1).

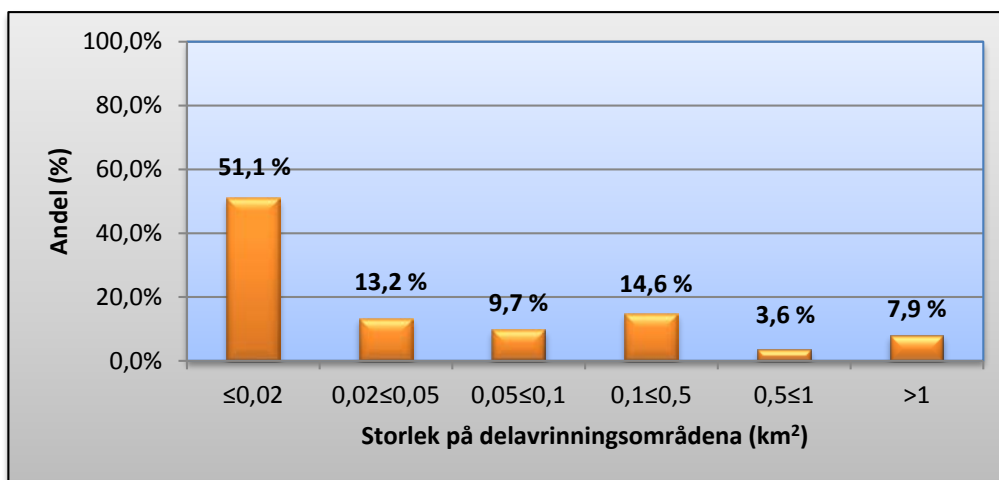
Av alla 6 100 vägtrummor och broar utgörs ca 97,4 procent, eller 5 940 stycken, av vägtrummor. Broarna utgör då ca 2,6 procent, eller 160 stycken. Med den klara majoriteten vägtrummor har just dessa fått ett betydligt större fokus i studien än broarna.

Vid en jämförelse mellan avrinningsområdena visas skillnader, till exempel är Hamrångeåns avrinningsområde mer än dubbelt så stort som Gnarpåns. I Gnarpåns avrinningsområde återfinns dock nästan dubbelt så många fler vägtrummor och broar per kvadratkilometer, vilket även ger en lägre medelstorlek för delavrinningsområdena (tabell 5.1).

Tabell 5.1. Areal samt antal delavrinningsområden för respektive avrinningsområde.

Avrinningsområde	Areal (km²)	Antal vägtrummor & broar	Medelstorlek/ delavrinningsområde (km²)
Gnarpån	228,8	1 178	0,19
Nianån	196,9	908	0,22
Lötån	319,3	1 158	0,28
Skärjån	329,6	1 296	0,25
Hamrångeån	512,3	1 560	0,33
Summa:	1 586,90	6 100	Medel: 0,25

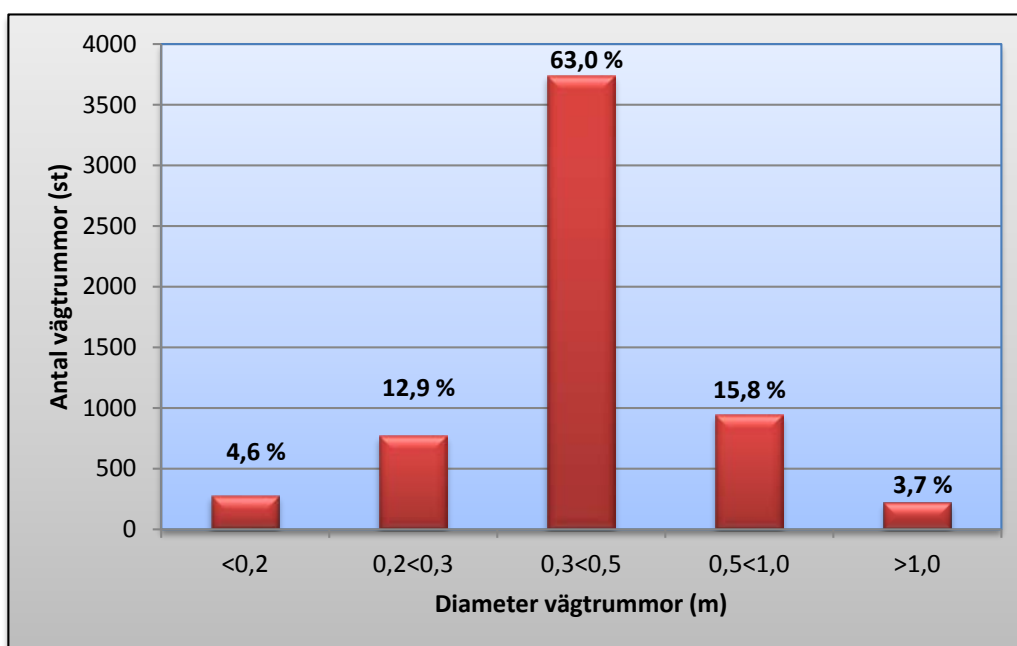
Med totalt 6 100 vägtrummor och broar återfinns samma antal delavrinningsområden, vilka varierar i storlek. Ett större delavrinningsområde genererar större mängd avrinning än ett mindre. Storleksfördelningen mellan delavrinningsområdena går att utläsa i figur 5.1. Observera att ca 51 procent av samtliga avrinningsområden understiger 0,02 kvadratkilometer, eller två hektar.



Figur 5.1. Storleksfördelning mellan samtliga av delavrinningsområdena.

5.2 Vägtrummmorna

Tidigare har redovisats att en vägtrummas diameter bör anpassas efter den avrinning vägtrumman ska vidaretransportera samt att den inte bör understiga 0,3 meter. I hela det inventerade området visade det sig att ca 18,2 procent av samtliga vägtrummor understiger 0,3 meter i diameter (Figur 5.2). En klar majoritet, ca 62,5 procent av alla vägtrummor, har en diameter mellan 0,3 och 0,5 mm.



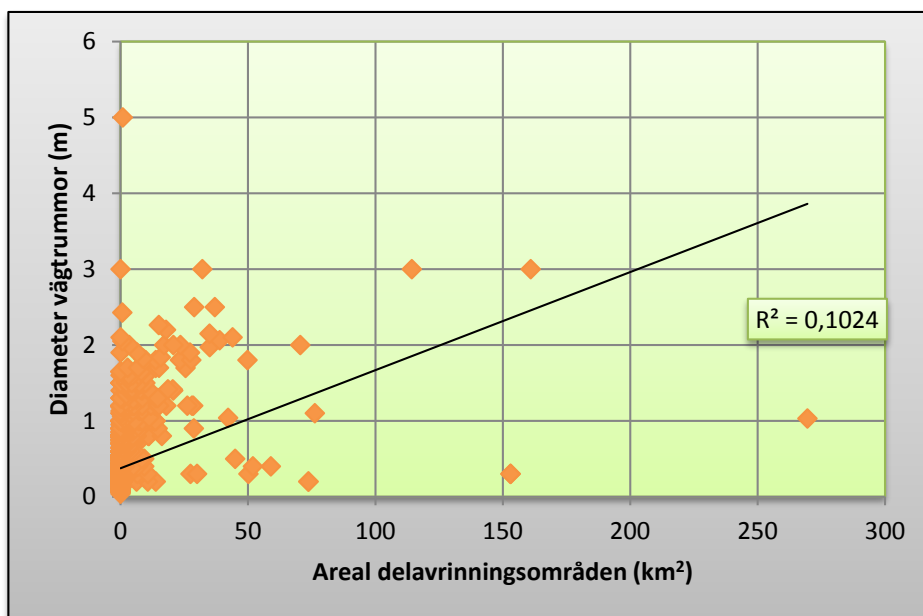
Figur 5.2. Diameterfördelning mellan samtliga vägtrummor.

5.2.1 Samband mellan vägtrumornas diameter samt tvärsnittsarea och delavrinningsområdets storlek

Det borde finnas ett samband mellan ett delavrinningsområdes storlek och storleken på den trumma som ska vidaretransportera vattenmassorna, då ett större delavrinningsområde generellt sett ansamlar en större mängd avrinning än ett mindre. Därför bör ett större delavrinningsområde ha en större vägtrumma. För att utreda om det finns något statistiskt samband mellan dessa parametrar har två studier gjorts;

- Korrelation mellan ett delavrinningsområdes storlek och vägtrummans tvärsnittsarea
- Korrelation mellan ett delavrinningsområdes storlek och vägtrummans diameter

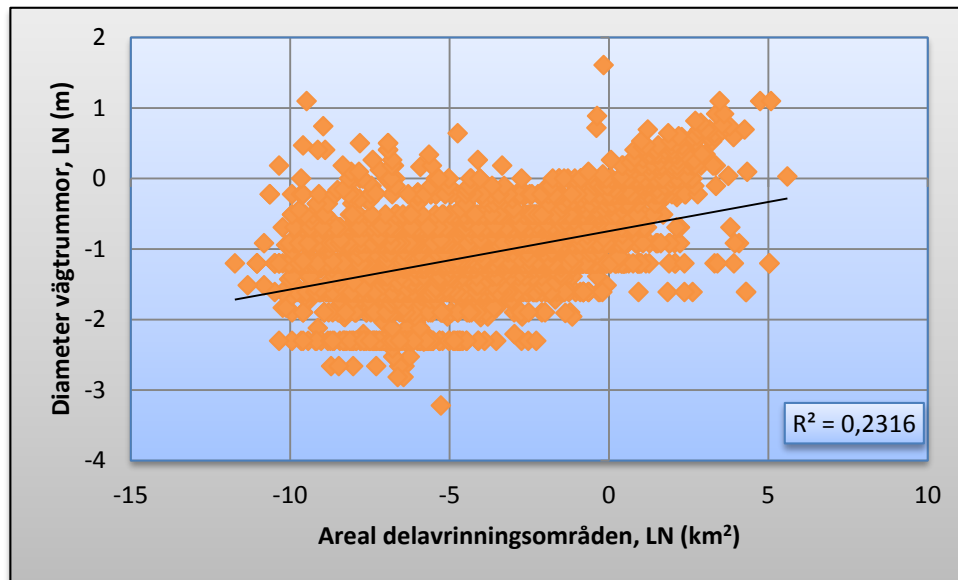
Vid trumläggning används diameter som måttenhet för att dimensionera en vägtrumma efter ett visst flöde. I figur 5.3 redovisas förhållandet mellan delavrinningsområdenas area och vägtrumornas diameter.



Figur 5.3. Korrelationen mellan vägtrumornas diameter och delavrinningsområdenas storlek. $R^2 \approx 0,10$.

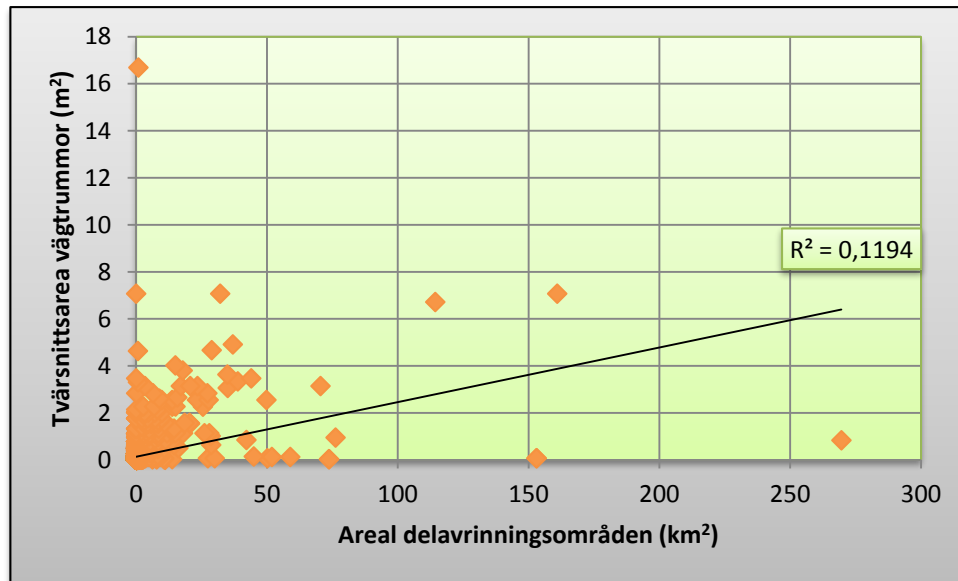
Då datamaterialet inte är normalfördelat har värdena multiplicerats med den naturliga logaritmen, LN. Resultatet blev ett normalfördelat material, vilket gör det lättare att beräkna statistiska samband. Huruvida det finns något samband mellan delavrinningsområdenas storlek och diametern på vägtrumorna återspeglas i figur 5.4.

Ett p-värde mindre än 0,001 visar på ett signifikant samband mellan vägtrumornas diameter och avrinningsområdenas areal. Dock är determinationsvärdet, R^2 , ca 0,23, vilket bör anses som lågt. Förklaringsgraden mellan de två variablerna är därför svagt även om det finns ett signifikant samband.



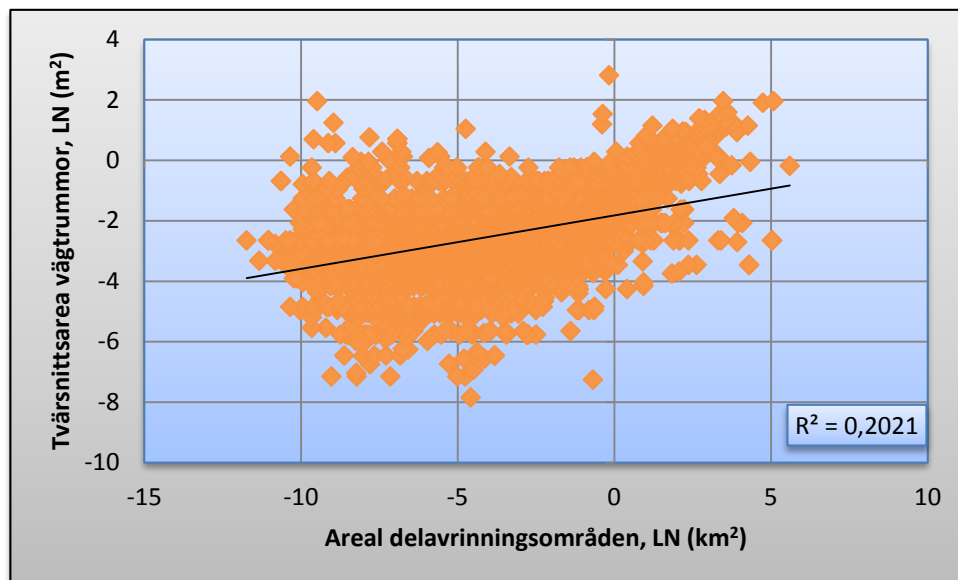
Figur 5.4. Korrelationen mellan vägtrumornas diameter och delavrinningsområdenas storlek. $R^2 \approx 0,23$, $p < 0,001$.

Hur man väljer att dimensionera en vägtrumma avgör hur mycket vatten som kan passera genom den. Diametern utgör den teoretiska begränsningen för vägtrummans kapacitet då en större trumma har en högre kapacitet än en mindre. Däremot är det inte önskvärt att överdimensionera en vägtrumma då det leder till onödigt höga kostnader. En svårighet med dimensionering är att en del av vägtrumorna slammar igen. Då de igenslammade vägtrumorna har en mindre tvärsnittsarea där vattnet kan passera igenom försämras effektiviteten hos vägtrumorna. Därför kan det krävas en extra säkerhetsmarginal, d.v.s. en större vägtrumma, för att bibehålla en tillräcklig tvärsnittsarea för vattnet att passera genom. I figur 5.5 återfinns förhållandet mellan varje delavrinningsområdes area samt vägtrummans tvärsnittsarea, vilken reducerats med en eventuell igenslamning.



Figur 5.5. Korrelationen mellan vägtrumornas diameter och delavrinningsområdenas storlek. $R^2 \approx 0,12$.

Inte heller det här datamaterialet är normalfördelat, varför varje delavrinningsområdes areal samt tvärsnittsarean för varje vägtrumma har multiplicerats med den naturliga logaritmen (figur 5.6). Det resulterade i en något starkare determinationskoefficient, ca 0,2 mot 0,12, samt ett p-värde mindre än 0,001. Med ett lågt determinationsvärde, ca 0,23, är förklaringsgraden mellan de två variablerna svagt.



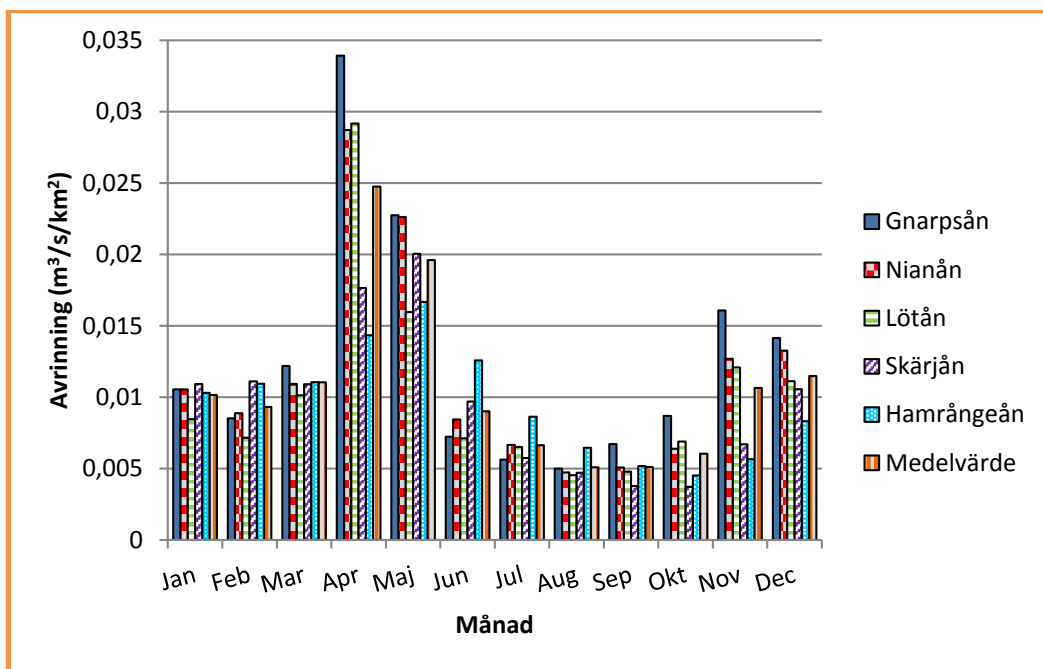
Figur 5.6. Korrelationen mellan vägtrummans tvärsnittsarea och delavrinningsområdets area. $R^2 \approx 0,20$, $p < 0,001$.

5.3 Avrinning och flödesberäkningar

Nedan redovisas resultaten av flödesberäkningarna samt SMHI:s uppgifter om avrinning. I de två underkategorierna, månadsvis medelavrinning och högflöde, återfinns både data om avrinning och i vilken omfattning vägtrumorna klarar av att vidaretransportera avrinningen.

5.3.1 Månadsvis medelavrinning

Med månadsvis medelavrinning menas ett medelvärde för respektive månad mellan åren 1999 och 2013. Det innebär att ett medelvärde för exempelvis januari beräknas från alla januarimånader mellan åren 1999 och 2013. Den månadsvisa medelavrinningen är redovisad i figur 5.7. Där går att utläsa avrinningen i kubikmeter per sekund och kvadratkilometer, för varje månad och avrinningsområde. Under varje månad visas ett medelvärde för alla avrinningsområden tillsammans. April och maj sticker ut något från mängden, då avrinningen är större här än de andra månaderna.

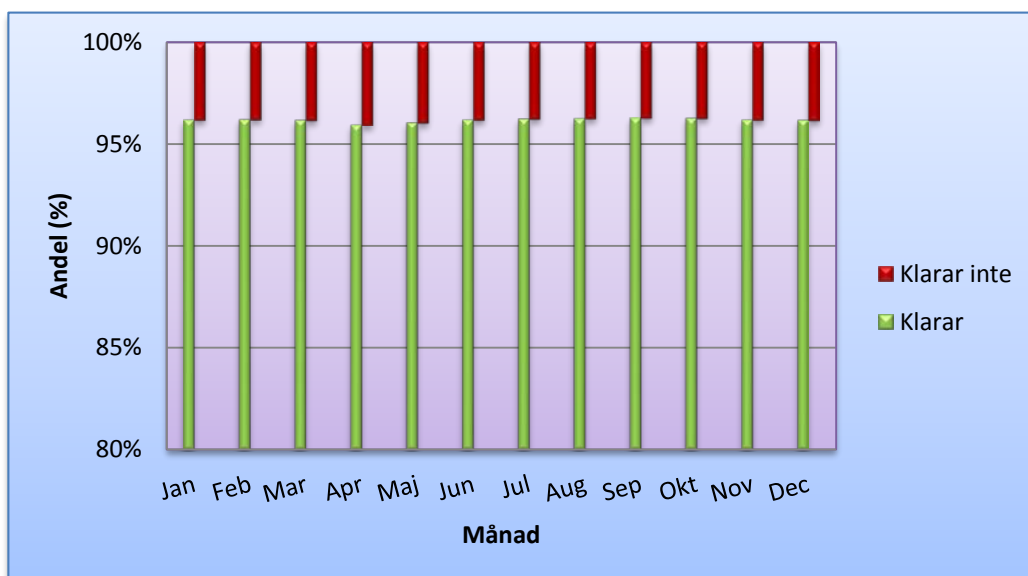


Figur 5.7. Månadsvis medelavrinning per kvadratkilometer och sekund för respektive avrinningsområde. Medelvärde för alla avrinningsområden, månad för månad är redovisad i den högra kolumnen.

Andelen av samtliga vägtrummor som inte klarar av att vidaretransportera avrinningen går att utläsa i figur 5.8. Trots att det är en relativt tydligt större mängd avrinning under april och maj (figur 5.7) skiljer det mycket lite mellan de olika månaderna beträffande andelen som inte klarar av avrinningen. Från mars till april ökar avrinningen nästan 150 procent, för att succesivt minska något ända fram till november, då den ökar något.

Resultatet i figur 5.8 visar att drygt 95 procent av alla 5 940 vägtrummor klarar av den rådande avrinningen, under årets alla månader. Resultaten är baserade på ett medelvärde per kvadratkilometer beträffande avrinning.

De underdimensionerade vägtrummornas geografiska placering finns återgivna i bilaga 1. Bilagan redovisar de underdimensionerade vägtrummorna både för månadsvis medelavrinnings samt höglöde.



Figur 5.8. Andel av alla vägtrummor som klarar av respektive inte klarar av den månadsvisa medelavrinningen.

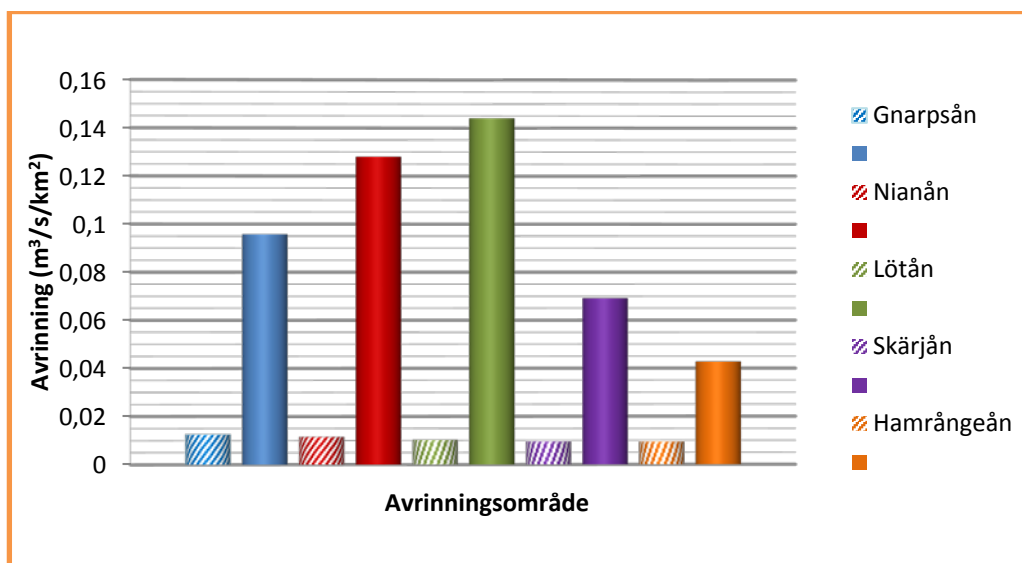
Genom att undersöka vilket avrinningsområde som har högst andel underdimensionerade vägtrummor visade det sig att 8,9 procent av Gnarpås vägtrummor är underdimensionerade, se tabell 5.2. Här finns redovisat antalet vägtrummor som inte klarar av avrinningen, för respektive månad. I tabellen återges även det totala antalet vägtrummor för respektive avrinningsområde. Det innefattar både de vägtrummor som inte klarar av avrinningen, men även de som gör det. Andelen vägtrummor som inte klarar av avrinningen är baserad på medelvärdet för alla månader, beräknat för respektive avrinningsområde, i förhållande till summan av medelvärdet för samtliga avrinningsområden och månader.

Tabell 5.2. Antal samt andel av vägtrumorna som inte klarar av den månadsvisa medelavrinningen för respektive avrinningsområde. Andel av totalen redovisar hur stor andel av samtliga vägtrummor inom respektive avrinningsområde som är underdimensionerade.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Medelvärde	Andel av totalen
Gnarpsån	103	102	103	109	105	102	101	101	101	102	103	103	102,9	8,9 %
Nianån	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24,0	2,7 %
Lötån	33	33	33	34	33	33	33	33	31	31	33	33	32,8	2,9 %
Skärjån	14	14	14	14	14	14	13	12	12	12	13	14	13,3	1,1 %
Hamrångeån	52	52	53	60	58	53	52	52	52	52	53	53	53,5	3,5 %
Summa:	226	225	227	241	234	226	223	222	220	221	226	227		

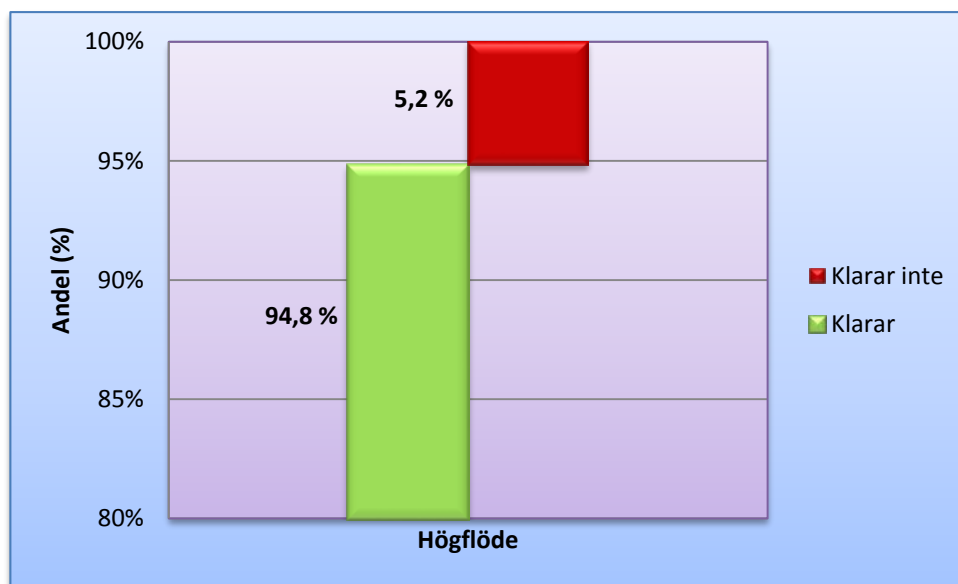
5.3.2 Högflöde

Ett högflöde innebär ett högre vattenflöde än vid ett normalflöde. Med högflöde antas i studien ett 50-årsflöde, vilket är baserat på SMHI:s flödesstatistik från år 1981 till och med år 2010 (SMHI, 2015, Länk I). I figur 5.9 redovisas mängden avrinning i kubikmeter per kvadratkilometer för respektive avrinningsområde. De högre staplarna representerar 50-årsflödet och de lägre staplarna representerar den månadsvisa medelavrinningen.



Figur 5.9. Avrinningen per kvadratkilometer och sekund för respektive avrinningsområde, för både högflöde (högre staplar) och den månadsvisa medelavrinning (lägre, mönstrade staplar).

I figur 5.10 redovisas andelen vägtrummor som klarar av respektive inte klarar av 50-årsflödet. Observera att det endast skiljer drygt en procent mellan andelen vägtrummor som inte klarar av medelflödet och 50-årsflödet (figur 5.8 och figur 5.10). Det bör dessutom noteras att skillnaden i mängden avrinning är flera hundra procent högre vid högflöde än vid månadsvis medelavrinning (figur 5.9).



Figur 5.10. Andel av alla vägtrummor som klarar respektive inte klarar av ett ökat flöde, 50-årsflöde.

I tabell 5.2 redovisades i vilken omfattning vägtrummorna klarade av att vidaretransportera den månadsvisa medelavrinningen. En likadan undersökning är gjord för 50-årsflödet (tabell 5.3). Andelen för varje avrinningsområde speglar hur stor andel av alla vägtrummor som inte klarar av avrinningen som finns i densammas avrinningsområde. Vid en jämförelse av de två tabellerna visar det sig att Gnarpån fortfarande har den största andelen vägtrummor som inte klarar av vattenflödet, även om andelen har minskat något.

Tabell 5.3. Antal samt andel av vägtrummorna som inte klarar av avrinningen från 50-årsflödet samt totalt antal vägtrummor per avrinningsområde. Redovisat för respektive avrinningsområde.

	Antal vägtrummor, samtliga	Antal vägtrummor, klarar inte avrinning	Andel av totalen:
Gnarpsån	1 160	132	11,38 %
Nianån	894	40	4,47 %
Lötån	1 122	42	3,74 %
Skärjån	1 249	54	4,32 %
Hamrångeån	1 515	40	2,64 %
Summa:	5 940	308	

Vad är då orsaken till att trummorna inte klarar av att vidaretransportera avrinningen? Det visade sig att cirka 75 procent av vägtrummorna skulle klara av den månadsvisa medelavrinningen om de inte var helt eller delvis igenslammade. Vid högflöde är andelen ca 65 procent.

5.3.3 Broar

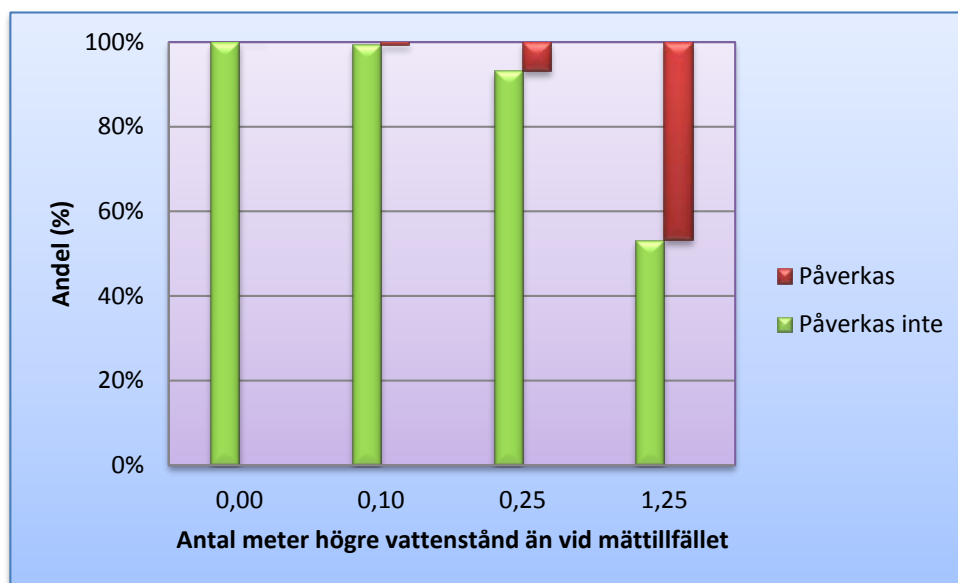
Under den här delen kommer resultaten för studierna beträffande hur broarna klarar av avrinningen. Samma avrinning har använts vid studierna av broarna. Därför hänvisas till de föregående avsnitten beträffande avrinning.

Vid Skogsstyrelsens inventering mättes avståndet mellan vattennivån och bronns lägsta punkt. I den här studien har tre fiktiva vattennivåer antagits. Den faktiska höjden, vilken den var vid inventeringen utgör en fjärde vattennivå (figur 5.11). Det senare är för att utreda om någon bro riskerar att ta skada av vattenflödet i dagsläget.

De tre fiktiva vattennivåerna är;

- 0,1 meter högre vattenstånd
- 0,25 meter högre vattenstånd
- 1,25 högre vattenstånd

Det senaste vattenståndet, 1,25 meter, ska återspegla ett 50-årsflöde.



Figur 5.11. Andel broar som skulle påverkas av en höjd vattennivå – räknat från inventeringstillfället.

För att reda ut om de broarna som inte klarar av avrinningen ligger i samma avrinningsområde har detta studerats. I tabell 5.4 återges andelen broar som skulle påverkas av en höjd vattennivå. Där finns återgivet antalet broar i varje avrinningsområde samt andelen av broarna som skulle påverkas av en höjd vattennivå. Observera att strax under 47 procent av alla broar skulle påverkas av ett högflöde.

Tabell 5.4. Andelen broar som skulle påverkas av en ökad avrinning, redovisat för respektive avrinningsområde.

	Antal broar, samtliga	0 meter ökad nivå	0,1 meter ökad nivå	0,25 meter ökad nivå	1,25 meter ökad nivå
Gnarpsån	18	0 %	0 %	2,5 %	6,9 %
Nianån	13	0 %	0 %	0 %	3,8 %
Lötån	36	0 %	0,6 %	0,6 %	8,8 %
Skärjån	47	0 %	0 %	1,9 %	11,9 %
Hamrångeån	46	0 %	0 %	1,9 %	15,6 %
Summa/andel	160	0,0 %	0,6 %	6,9 %	46,9 %

6. DISKUSSION

I vilken omfattning är vägtrummor underdimensionerade? Tack vare Skogsstyrelsens unika inventering av vägtrummor och broar finns det högupplöst data över deras geografiska position samt geometrisk information. Tillsammans med den nya digitala höjdmodellen möjliggörs beräkningar som tidigare inte varit möjliga. I min studie har det möjliggjort noggranna beräkningar för hur mycket vatten en vägtumma tar emot vid olika flödessituationer samt information om var de trummor finns som utgör de största problemen. Resultatet är ett planeringsverktyg för att:

- Säkra samhällets infrastruktur
- Motverka läckage av slam och grus till vattendrag

En minskad andel underdimensionerade vägtrummor skulle med största sannolikhet reducera skadorna på infrastrukturen, orsakade av avrinning. Sammantaget resulterar det i besparingar, både ekonomiska och ekologiska. Min förhoppning är att studien kan ge upphov till mer omfattande studier. Med den nya teknologin finns nu bättre möjligheter att utforma ett mer omfattande planeringsverktyg för att minska den negativa påverkan på infrastrukturen.

I vilken omfattning är vägtrumorna underdimensionerade då? Några av resultaten från studien visar att knappt 5 procent av samtliga vägtrummor är underdimensionerade, under förutsättning att det är månadsvis medelavrinning, inte högflöde. Under högflöde är andelen underdimensionerade vägtrummor bara något högre. Drygt 5 procent av alla vägtrummor är underdimensionerade under ett högflöde. Det faktum att vattenföringen är betydligt högre vid högflöde än vid månadsvis medelavrinning påverkar med andra ord andelen underdimensionerade vägtrummor tämligen lite. Därför är det lätt att motivera att en klar majoritet av vägtrumorna är tillräckligt dimensionerade. En av de bakomliggande orsakerna till att vissa vägtrummor inte klarar av vattenmassorna är att de helt eller delvis är igenslammade. Ungefär 75 procent av de underdimensionerade vägtrumorna vid månadsvis medelavrinning och ca 65 procent vid högflöde påverkades så mycket att de inte kunde utföra sin uppgift till fullo.

Drygt hälften av alla delavrinningsområden understiger 0,02 km², eller 2 ha. Jag ställer mig frågande till om nyttan övervinner kostnaden att bygga vägtrummor i så små delavrinningsområden i den omfattning som är fallet? Självklart förekommer situationer då en vägtumma kan vara motiverad i så små delavrinningsområden. Det kan bero på lokala terrängförhållanden, eller kortare tidsperioder av vattenansamlingar som behöver transporteras bort, för att nämna några orsaker. Hur man ska hantera sådana små områden är en spännande fråga som behöver studeras ytterligare i framtiden. En ny studie i Krycklans avrinningsområden visade att små bäckar i skogsmarken bildades efter ca 2 ha under vårfloden. Var marken

dikad kunde man hitta rinnande vatten redan efter 1 ha landskap under vårflo den (Ågren m.fl. 2015). Under basflöde behövdes det dock mellan 10-15 ha landskap innan man hittar någon ytavrinning.

Vid ett visst flöde bör det finnas en optimal diameter på en vägtrumma. Huruvida det går att finna en optimal diameter utifrån de insamlade uppgifterna är svaret nekande. Resultatet visade att sambandet mellan delavrinningsområdets storlek och storleken på vägtrumman är mycket svagt eller så gott som negligerbart.

Jag har valt att fokusera mindre på broarna, då de endast utgör ca 2,6 procent av hela populationen. Då det inte varit möjligt att beräkna vattennivån i vattendragen har tre fiktiva vattennivåer antagits. Höjningarna har utgått från nollpunkten, d.v.s. vattennivån vid inventeringstillfället vilken var okänd. Därför bygger den delen av studien på mindre tillförlitliga uppgifter, varför den inte kommer att lyftas fram nämnvärt. Resultatet visade att en vattennivåhöjning på 1,25 meter skulle leda till att strax under 50 procent av alla broar skulle påverkas i av den höjda vattennivån.

Några svagheter med studien materialiseras i form av att det i GIS-simuleringarna kan uppstå en viss felmarginal då programmet fyller igen sänkor i landskapet. Vattnet kan rinna åt ett annat håll i en simulering jämfört med verkligheten. Felmarginalen minskar dock då den oftast uppkommer i sjöar när GIS-programmet fyller upp sjöarna i jämnhöjd med närliggande fastmark. I sjöar byggs däremot inga vägtrummor. Därför har den felmarginalen troligtvis mindre betydelse för studien. En annan felmarginal grundas på SMHI:s prognoser. En prognos är inte exakta data, eftersom de är förutspådda framtida händelseförlopp baserat på kvalitativ data.

Den längsta återkomsttiden av nederbörd som finns tillgänglig från SMHI är 50-årsflöden. Längre återkomsttider medför högre flöden än kortare återkomsttider. 50-årsflödet valdes då det används vid dimensionering av vägtrummor. Dessutom blir studien mer nyanserad med ett högre flöde, då det skapar större skillnader i scenarierna. Tanken var att skillnaderna mellan de olika flödena skulle jämföras mot varandra och skapa grund för diskussion.

Studien baseras på alla fem avrinningsområden, eller ca 1 585 km². Orsaken till att alla avrinningsområden studerades och inte en mindre, representativ del, är att en större datamängd ger ett större urval. Därigenom går det bl.a. att jämföra de olika avrinningsområdena och studien blir mer nyanserad. Till exempel är Gnarpån det avrinningsområde som har högst antal underdimensionerade vägtrummor. Vidare har Nianån lägst antal underdimensionerade vägtrummor. Felkällorna kvarstår, oberoende på storleken på de studerade områdena, då samma informationskällor skulle ha använts.

Sammanfattningsvis, ca 5 % av vägtrummmorna var underdimensionerade. Dessa utgör ett problem inte bara vid ett kraftigt 50-års flöde, utan majoriteten av de trummmorna kan inte dränera undan vattnet ordentligt under den årliga vårfloden. Detta leder till översvämningar uppströms vägtrumman vilket kan orsaka en vattenmättnad i vägen och orsaka erosion. Detta skadar både vägen och nedströms liggande vattensystem, vilket i sin tur har en negativ påverkan på såväl framkomligheten som ekonomin och miljön.

Rimligtvis borde vägtrumman dimensioneras efter hur mycket vatten som rinner dit, vilket sin tur beror av delavrinningsområdets areal. I det här datasetet fanns dock ett svagt samband mellan storleken på trumman och arealen som ska dräneras. Det beror troligen på att man inte tidigare kunnat beräkna arealen som ska dräneras utan har fått gissa sig till en lämplig storlek på vägtrumman. Den här studien visar på de kraftfulla verktyg som nu kan tas fram utifrån den nya nationella höjdmodellen där vattenflödena kan beräknas till varje trumma och den kan dimensioneras därefter.

Studien visade att ett problem var igenslamning av vägtrummmorna. Det kan tänkas att det finns systematiska skillnader där problemet är större på vissa jordarter. Detta är något att undersöka närmare i framtiden för att se om nya riktlinjer kan utvecklas för hur vägtrummmor bör dimensioneras på olika jordarter.

7. SAMMANFATTNING

Varje år drabbas Sveriges infrastruktur av mer eller mindre omfattande skador orsakade av vattenflöden. Skadorna orsakas inte allt för sällan av översvämningar till följd av underdimensionerade vägtrummor. En fungerande infrastruktur är ett krav för ett ekonomiskt och ekologiskt lönsamt skogsbruk, varför en minskad frekvens av underdimensionerade vägtrummor bör medföra ett lönsammare skogsbruk.

Syftet bakom studien har varit att undersöka i vilken omfattning de inventerade vägtrummorna och broarna i Gävleborgs län är underdimensionerade. Studien omfattar totalt 5 940 stycken vägtrummor och 160 stycken broar i avrinningsområdena för Gnarpån, Nianån, Lötån, Skärjån samt Hamrångeån. En förhoppning är att studien kan användas som ett nytt hjälpmedel för att dimensionera vattenpassagerna och minska den underdimensionerade andelen. Det är möjligt att göra tack vare den nya höjdmodellen.

Studien har varit möjlig tack vare Skogsstyrelsens unika inventering av vägtrummor och broar. Inventeringen medför högupplöst data över deras geografiska position samt geometrisk information, såsom diameter och längd. Förutom Skogsstyrelsens inventerade material har den nya höjdmodellen och avrinningsdata från SMHI använts för att möjliggöra beräkningarna. Den nya höjdmodellen har möjliggjort beräkningar för hur mycket vatten som rinner till varje vägtrumma och bro, vilket tidigare inte varit möjligt att simulera.

Två olika vattenflöden har studerats, månadsvis medelavrinning och högflöde. Den månadsvisa medelavrinningen har utgjorts av medelavrinningen för varje av årets 12 månader, baserat på SMHI:s data mellan åren 1999 och 2013. Högflödet utgörs av ett 50-årsflöde, baserat på SMHI:s data mellan åren 1981 och 2010. Resultatet visade att strax under 5 procent av alla vägtrummor är underdimensionerade vid månadsvis medelavrinning och drygt 5 procent vid högflöde. Trots att vattenflödet ökar flera hundratals procent mellan månadsvis medelavrinning och högflöde är skillnaden mellan flödena endast några promille för andelen vägtrummor som är underdimensionerade. Dock utgör de underdimensionerade vägtrummorna ett problem då de kan orsaka omfattande skador på infrastrukturen vilket i sin tur kan skada habitat för levande organismer, då markparticklar förflyttas med vattnet.

Broarna har en mindre betydande roll i studien, då de endast utgör ca 2,6 procent av samplet. Vid flödesberäkningarna för broarna har ingen vattennivå kunnat beräknas, varför tre fiktiva vattennivåer har antagits. Därför är den delen av studien mindre säker. Resultatet visade att nästan hälften av alla 160 broar skulle påverkas av ett ökat flöde med 1,25 meter. Nämda vattennivåhöjning representerar ett högflöde.

8. REFERENSER

8.1 Publikationer

Adger, N., M.fl. (2007). FN:s klimatpanel 2007: Klimateffekter, anpassning och sårbarhet - Sammanfattning för beslutsfattare. Stockholm: Naturvårdsverket (Rapport 5704, april 2007).

Arvidsson, A. K., m.fl. (2012). Klimatanpassning av vägkonstruktion, drift och underhåll - Ett temaprojekt. Linköping: VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI rapport 771, 2012).

Bergström, S. (1994). *Sveriges hydrologi - grundläggande hydrologiska förhållanden. 2 uppl.* Norrköping: Svenska Hydrologiska Rådet.

Bishop, K, m.fl. (2008). *Aqua Incognita: the unknown headwaters..* New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd. B (*upplaga 22, 1239-1242*).

Edsgård, S. (2012). *Konsekvenser av en översvämning i Mälaren.* Karlstad: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (Fö2010/560/SSK).

Field, C. B., m.fl. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: IPCC - intergovernmental panel on climate change, 1-32.

Filipsson, S. (1996). *Nyckeln till skogen: Skogsvägen.* Skog&Forskning 4:96, 13-15.

Gunnarsson, S., Hallgren, P., & Christoffersson, P. (2011). Anvisningar för projektering och byggande av skogsbilvägar klass 3 och 4. Jönköping: Skogsstyrelsen (*Version 2011-01-01*).

Hallgren, P. (2010). *Klimatanpassad vägbyggnadsteknik för skogsbilvägar. 1 uppl.* Jönköping: Skogsstyrelsen.

Johansson, B. (2012). *Drift- och underhåll av enskilda vägar.* Borlänge: Trafikverket (*Publikation 2012:141*).

Johnell, A. (2010). Regional klimat- och sårbarhetsanalys Kronobergs län. Norrköping: SMHI (*Version 2.0*).

Larsson, G. (1992). Skogsväghållning, byggnad och underhåll. Skinnskatteberg: Sveriges lantbruksuniversitet (*Rapport 1992:2*).

Lif, M. (2006). *Översvämningar.* Solna: Världsnaturfonden WWF.

Länsstyrelsen. (2013). *Att anlägga vägtrummor.* Örebro: Länsstyrelsen Örebro län.

Mitchell, A. (2012). *The ESRI Guide to GIS Analysis*. New York: Environmental Systems Research Institute Inc., U.S (upplaga 3).

Palm, R. Gard, A.-M. Klang, R. & Magnusson, H. (2001). Statsbidrag till enskild väghållning. Borlänge: Vägverket (*Publikation 2001:36*).

Ryan, T. Phillips, H. Ramsay, J. & Dempsey, J. (2004). *Forest Road Manual. Guidelines for the design, construction and management of forest roads*. Dublin: Coford.

Skogsstyrelsen. (2013). Miljöanpassade vattenpassager på skogsbilvägar – en handledning (för projektering och byggnation). Jönköping: Skogsstyrelsen.

Statens Planverk. (1981). *VA-byggnorm. 2 uppl.* Stockholm: Statens Planverk.

Stenhag, S. (2015). *Konfidensintervall*. Skinnskatteberg: Sveriges Lantbruksuniversitet.

Sveriges Riksdag. (2015). *Sveriges Rikes Lag. 136 uppl.* Stockholm: Norstedts Juridik AB.

Tannerfors, L. G. (1996). Vägens nyttjare. *Skog&Forskning* 4:96, 6-9.

Wastenson, L. Raab, B. & Vedin, H. (1995). *Sveriges nationalatlas Klimat, sjöar och vattendrag. 1 uppl.* Stockholm: Sveriges lantmäteriverk.

Vägverket. (2008). VVMB 310 Hydraulisk dimensionering. Borlänge: Vägverket (*Publikation 2008:61*).

Världsnaturfonden WWF. (2011). *NPK+ och blå målklassning*. Solna: WWF.

Ågrén, A. Lidberg, W & Ring, E. (2015). *Mapping temporal dynamics in a forest stream network - implications for riparian forest management*. Umeå: Sveriges Lantbruksuniversitet.

Öberg, S. Kronkvist, L. Johansson, E. Klang, R. & Andersson, G. (2001). Projektering och byggande av enskilda vägar. Borlänge: Vägverket (*Publikation 2001:9*).

8.2 Internetdokument

Länk A:

Besökt 2015-03-04. Skogforsk, kunskap direkt (vägar)

<http://www.kunskapdirekt.se/sv/KunskapDirekt/vagar/Skogsbilvagar-och-andra-enskilda-vagar/>

Länk B:

Besökt 2015-03-20. SMHI – Sveriges metrologiska och hydrologiska institut

<http://www.smhi.se/2.153/professionella-tjanster/bygg-och-anlaggning/aterkomsttid-sannolikhet-och-risk-1.1483>

Länk C:

<http://water.usgs.gov/edu/watercycleswedish.html>

Besökt sidan: 2015-02-10

Länk D:

Besökt 2015-03-23. SMHI – Sveriges metrologiska och hydrologiska institut

<http://www.smhi.se/klimatdata/framtidens-klimat/klimatscenarier?area=swe&var=n&sc=rcp85&seas=ar&dnr=99&sp=sv&sx=0&sy=0#area=swe&dnr=99&sc=rcp85&seas=ar&var=n>

Länk E:

Besökt 2015-03-23. Kunskap direkt - Skogforsk

<http://www.kunskapdirekt.se/sv/KunskapDirekt/vagar/Rakna-med-vagar/>

Länk F:

Besökt 2015-05-07. SMHI – Sveriges metrologiska och hydrologiska institut.

<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/tjale-1.20264>

Länk G:

Besökt 2015-05-08. SMHI - Sveriges metrologiska och hydrologiska institut.

<http://www.smhi.se/klimatdata/hydrologi/vattenforing>

Länk H:

Besökt 2015-03-04. SMHI - Sveriges metrologiska och hydrologiska institut.

<http://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>

Länk I:

Besökt 2015-05-12. SMHI - Sveriges metrologiska och hydrologiska institut.

<http://www.smhi.se/professionella-tjanster/professionella-tjanster/miljo-och-klimat/vattenmiljo/indata-for-markanvandning-i-vattenwebben-1.26063>

Länk J:

Besökt 2015-07-21. SMHI – Sveriges metrologiska och hydrologiska institut.

<http://www.smhi.se/2.153/professionella-tjanster/bygg-och-anlaggning/aterkomsttid-sannolikhet-och-risk-1.1483>

Länk K:

Besökt 2015-07-21. SMHI – Sveriges metrologiska och hydrologiska institut.

http://data.smhi.se/met/climate/time_series/html/rcp/swe/rcp85/dia_big/t_ar_swe_rcp85_y.png

Länk L:

Besökt 2015-07-21. SMHI – Sveriges metrologiska och hydrologiska institut.

http://data.smhi.se/met/climate/time_series/html/rcp/swe/rcp85/dia_big/n_ar_swe_rcp85_y.png

Länk M:

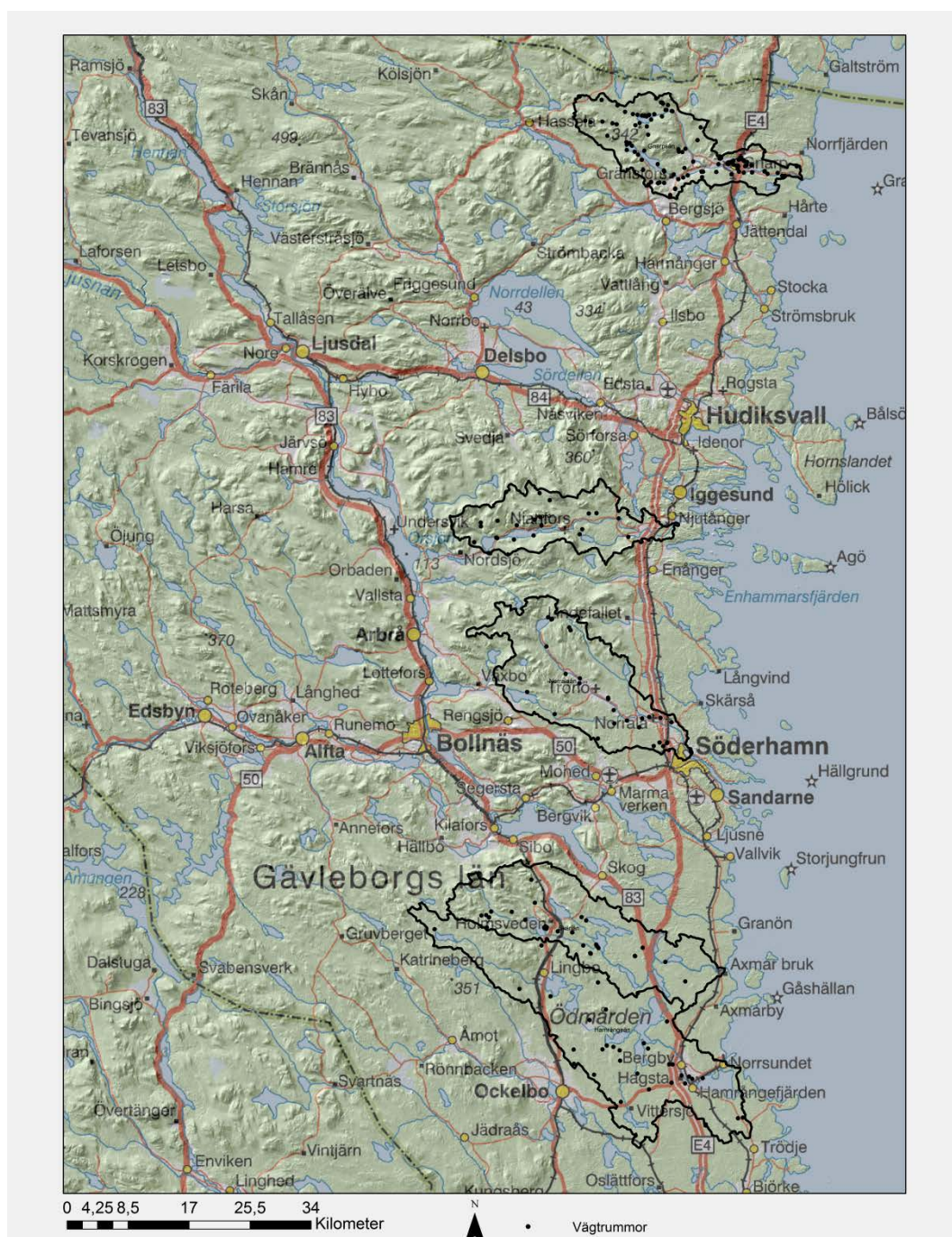
Besökt 2015-07-22. SMHI – Sveriges metrologiska och hydrologiska institut.

<http://vattenwebb.smhi.se/modelarea/>

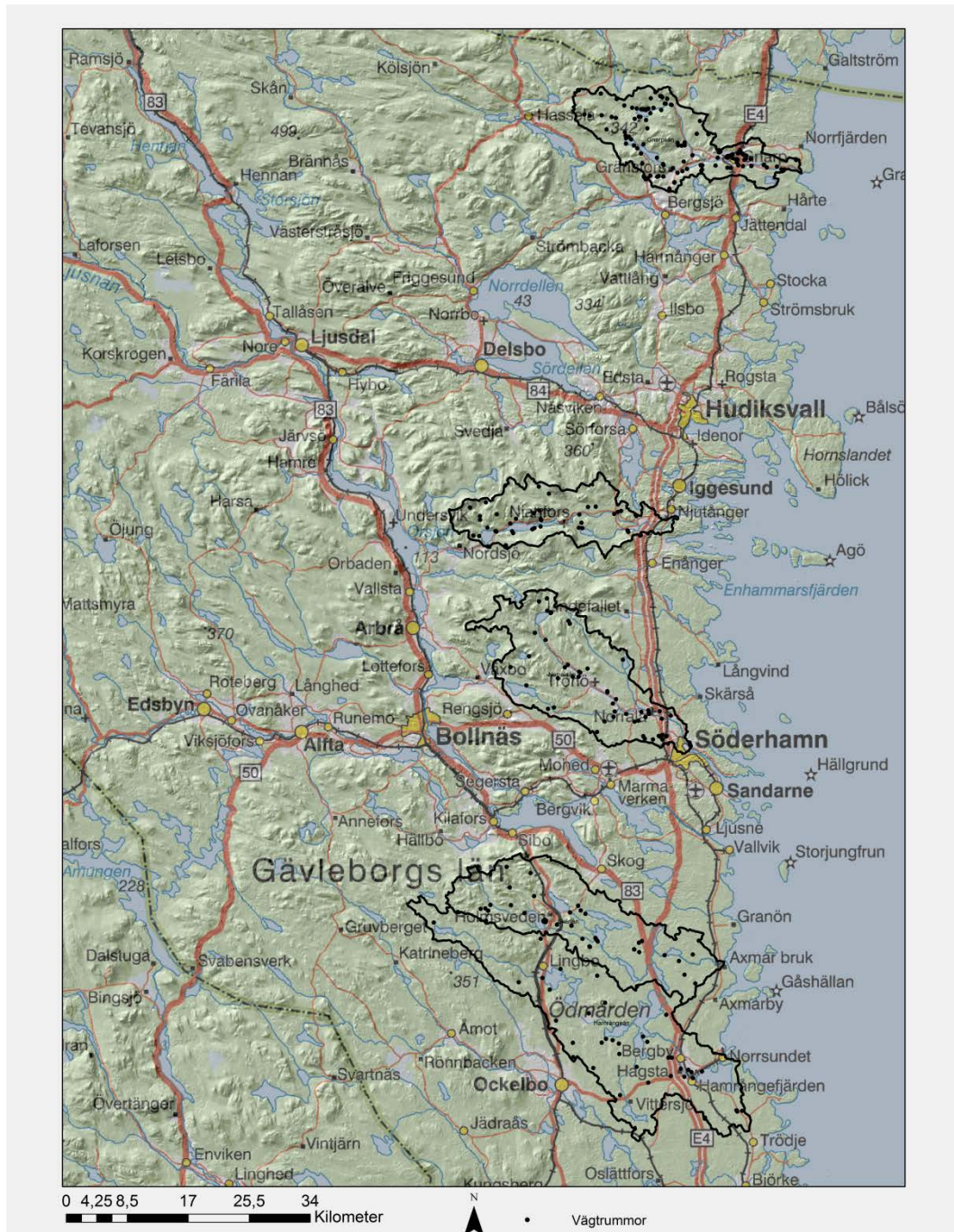
9. BILAGOR

Bilaga 1, Underdimensionerade vägtrummor

Månadsvis medelavrinning



Högflöde



Bilaga 2, Skogsstyrelsens inventeringsprotokoll

Inventeringsdatum: **2014**/____/____(åååå/mm/dd)

Grupp nr 101(ex) Löp nr (ett nummer per trumma xxxx) ____

Vägbom ☐ Annat hinder motsvarande bom (t.ex. stor sten) ☐

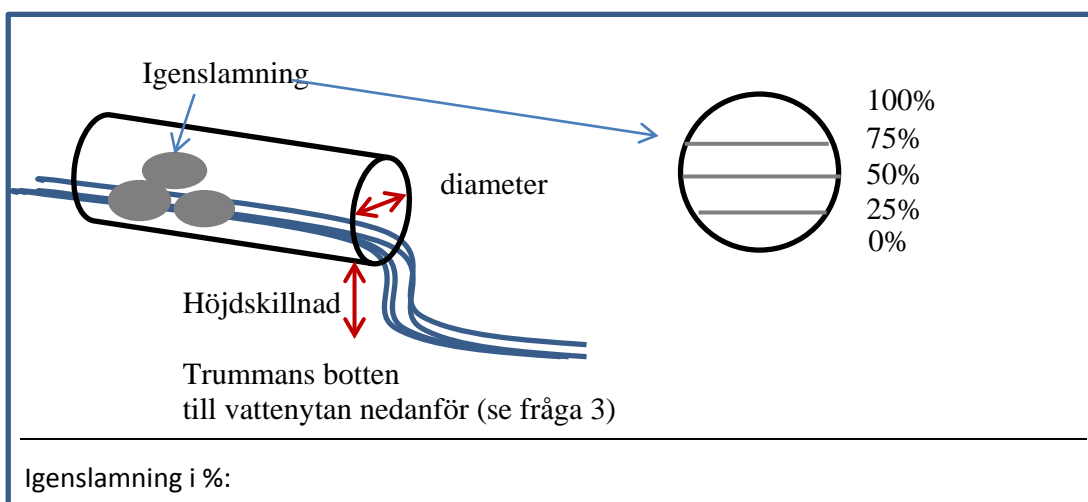
Trummans skick: bra ☐ dåligt ☐

Typ av övergång bro ☐ heltrumma ☐ halvtrumma ☐ flera trummor(antalet) ☐

Trumtyp betong ☐ stål ☐ plast ☐ övrigt ☐.....

rund ☐ oval ☐ rektangulär ☐

Diameter(cm) (för halvtrummor, oval, rektangulär höjd x bredd) h:
b:



Igenslamning i %:

1. Utgör trumman vandringshinder för fisk?

Ja
☐

Nej
☐

Troligen (osäker)
☐

Troligen inte (osäker)
☐

2. Anledning till att trumman bedöms utgöra ett vandringshinder (fler alternativ kan kryssas i)

fall ur trumman ☐

hög vattenhastighet i trumman ☐

hinder i trumman ☐

för lite vatten i trumman ☐

3. Avstånd mellan trummans botten och vattenytan nedanför: _____cm

Kommentarer om trumman

Källa: Skogsstyrelsen Gävleborgs län, 2014